

# Simplified life cycle assessment applied to structural insulated panels homes

## Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (structural insulated panels)

Juan Pablo Cárdenas<sup>1\*</sup>, Edmundo Muñoz\*\*, Cristian Riquelme\*, Francisco Hidalgo\*

\* Universidad de la Frontera, Temuco. CHILE

\*\* Universidad Andrés Bello, Santiago. CHILE

Fecha de Recepción: 30/10/2014

Fecha de Aceptación: 25/03/2015

PAG 33-38

### Abstract

As environmental issues become increasingly important, the buildings have focused on energy efficiency and energy needed for the construction and production of material. This research shows a simplified life cycle analysis study of operational and embodied energy of four new houses located in Temuco - Chile, structured with SIP (Structural insulated panel), in order to quantify the energy at each stage of this construction system. To obtain embodied energy were used two international databases in order to quantify the energy of each material, and the energy contained in the process relating with structure SIP was determined through measures in a company specializing in SIP construction. For the operational energy, computational models were carried out with Design Builder software, and this energy was projected at 50 years lifespan. The analysis of the data obtained show that the energy contained by construction processes represents about 1.7% of embodied energy, while the total embodied energy represents 11% of the total life cycle energy of houses, the remaining 89% represents the energy of occupation. On the other hand, we observe that SIP houses generate figures close to 60% savings in energy demand, compared to a masonry houses commonly built in this city.

**Keywords:** Construction materials, environmental assessment, embodied energy, operational building energy, life cycle assessment

### Resumen

A medida que los asuntos ambientales se vuelven más importantes, las construcciones se han enfocado en su eficiencia energética y la energía necesaria para construir y producir los materiales. Esta investigación muestra un estudio de Análisis de Ciclo de Vida simplificado de energía operacional y energía contenida de cuatro viviendas nuevas ubicadas en Temuco, Chile, estructuradas con paneles SIP (Structural insulated panel) para cuantificar la energía en cada etapa de este sistema de construcción. Para obtener la energía contenida, fueron utilizadas dos bases de datos internacionales para cuantificar la energía de cada material y se determinó la energía contenida en el proceso relacionado a la estructura de paneles SIP a través de mediciones en una compañía especializada en construcción de paneles SIP. Para la energía operacional, se llevaron a cabo modelos computacionales con el software Design Builder y se proyectó esta energía con una vida útil de 50 años. El análisis de la información obtenida muestra que la energía contenida por procesos de construcción representa cerca del 1.7% de la energía contenida y mientras que el total de energía contenida representa el 11% de la energía del ciclo de vida total de las viviendas, el remanente 89% representa la energía de operación. Por otro lado, observamos que las viviendas con paneles SIP generan cifras cercanas al 60% en ahorro en demanda energética, comparadas a las viviendas de mampostería estructural normalmente construidas en esta ciudad.

**Palabras claves:** Materiales de construcción, evaluación ambiental, energía contenida, energía operacional, análisis de ciclo de vida

## 1. Introducción

La construcción de edificios juega un rol fundamental en el medioambiente. Es un gran consumidor de recursos naturales y genera una enorme cantidad de desechos. Es también un importante usuario de energía no renovable y un emisor de gases causantes del efecto invernadero y otros desechos en estado gaseoso (Zabalza Bribián, Aranda Usón, y Scarpellini, 2009).

El sector de la construcción contribuye en gran medida a la carga ambiental global de las actividades humanas: por ejemplo, cerca del 40% del consumo energético total en Europa corresponde a este sector. De acuerdo a la información entregada por el Worldwatch Institute, la construcción de edificios consume el 40% de roca, arena y gravilla, además del 25% de madera y 16% del agua utilizada anualmente en el mundo (Arena y de Rosa, 2003). El área de la construcción (es decir, incluyendo producción y transporte de materiales de construcción) en los países de la OCDE consume del 25% al 40% de la energía total utilizada (e incluso en algunos países puede alcanzar el 50%) (Asif, Muneer y Kelley, 2007).

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:

Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Frontera,  
Temuco, Chile

E-mail: [juanpablo.cardenas@ufrontera.cl](mailto:juanpablo.cardenas@ufrontera.cl)



Debido a que se utilizan materiales globales tales como cemento, aluminio, concreto y PVC, los costos energéticos y el impacto ambiental aumentan diariamente. Naturalmente, la solución es volver a sus orígenes al sector de la construcción, utilizar materiales locales con bajos costos energéticos y un bajo impacto ambiental.

Por otro lado, muchos estudios han demostrado que la energía operacional representa la principal etapa de la energía total utilizada en viviendas durante un ciclo de vida asumido de 50 años siendo aproximadamente 85–95% del uso energético total (Thormark, 2002). También representa un gran objetivo a mejorar y la mayoría de las políticas ambientales lo abordan. Existe una clara interacción entre todas las etapas de la vida de un edificio: por ejemplo, si se invierte menos en la fase de construcción (utilizando, por ejemplo, una mala aislación), la inversión necesaria para uso y mantenimiento aumentará. Entonces, la pregunta es la siguiente: ¿es mejor invertir en la construcción antes que en uso y mantenimiento? La aplicación de una metodología global tal como el LCA nos permitirá contestar esta pregunta dado que esta metodología puede analizar el impacto ambiental global durante la vida útil de un edificio (Zabalza Bribián et al., 2009).

Sin embargo, existen muchas metodologías propuestas en artículos que tienen el objetivo de superar los prejuicios existentes de los arquitectos e ingenieros sobre la complejidad del LCA, debido a las dificultades para entender y aplicar los resultados y el vínculo poco definido en relación a las aplicaciones de certificación energética. En Chile, la metodología LCA aplicada al sector de la construcción es un tema nuevo y nuestro trabajo está aún enfocado en incorporar el concepto de energía contenida.

## 2. Discusión y desarrollo

### 2.1 Metodología

#### Objetivo y alcance

El objetivo de este estudio fue comparar diferentes viviendas disponibles hoy en día en el mercado de la construcción en la ciudad de Temuco, Chile, de acuerdo a su energía contenida y operacional.

#### Energía

Debido a la falta de inventario en Chile y a que la metodología LCA aplicada al sector de la construcción es aún incipiente, el análisis se simplificó al cálculo de energía en la fase de construcción como resultado de la energía en cada material utilizado en la vivienda a través de dos bases de datos: Inventory of Carbon & Energy (Geoff Hammond & Craig Jones, 2008) y New Zealand Building Embodied Energy Coefficients materials database (Alcorn, 1998).

Para determinar la energía contenida en el proceso de construcción, se llevó a cabo un levantamiento de datos en la etapa de ensamble de un conjunto de módulos y viviendas de paneles SIP.

Además, la energía operacional fue calculada como necesaria para mantener la comodidad térmica y la iluminación en la vivienda, diseñado a cincuenta años. El objetivo de este estudio es generar una primera aproximación al asunto energético, un concepto no tratado por las compañías constructoras quienes están incorporando nuevos criterios de eficiencia energética pero enfocada solamente en la etapa de ocupación.



Este concepto también está destinado a ver la importancia de considerar todas las etapas de ciclo de vida de la construcción de viviendas para avanzar hacia una construcción sustentable y certificable.

### **Evaluación del impacto- Emisiones de CO<sub>2</sub>**

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) se determinó de forma separada en las dos etapas del ciclo de vida. Para la primera etapa, se determinó el CO<sub>2</sub> equivalente asociado con el contenido energético y para la segunda etapa, se determinó la emisión de CO<sub>2</sub> desde la etapa de ocupación asociada con el combustible empleado.

Obtener el CO<sub>2</sub> equivalente fue similar a obtener la energía. La base de datos utilizada para la determinación de CO<sub>2</sub> equivalente tiene los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> en kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes por unidad de material. A diferencia de la determinación de energía en este caso, la determinación de CO<sub>2</sub> equivalente se lleva a cabo con una sola base de datos de Inventory of Carbon & Energy. Este estudio se basa en la información generada a partir de la energía, realizando cambios a los factores de emisión desde Inglaterra, relacionados a emisiones de combustible utilizado en el proceso que es sólo una primera aproximación y no representa necesariamente la realidad de Chile.

La emisión del proceso de construcción se midió cuantificando la energía de los procesos y el factor de emisión de la fuente de combustible utilizada.

La emisión de la fase de ocupación fue generada desde el software de simulación térmica DesignBuilder®. El cálculo de CO<sub>2</sub> equivalente se asoció al consumo energético de HVAC (climatización) y la electricidad para la iluminación calculada por el software. Por consiguiente, el software identificó un factor para cada combustible que contiene el monto de CO<sub>2</sub> equivalente emitido por unidad de energía consumida (kg CO<sub>2</sub>eq/kWh), por lo que este factor multiplicado por el consumo energético de las viviendas entrega las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>. Los factores presentados por el software para el consumo energético en Chile fueron:

- » Electricidad : 0.685 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh
- » Diesel : 0.273 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh
- » LPG y NG : 0.195 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh

## **3. Resultados y discusión**

La Tabla 1 que se muestra abajo presenta los resultados de cuatro viviendas construidas con paneles SIP. Las primeras dos viviendas son clasificadas como comunes en el sur de Chile, mientras que las viviendas 3 y 4 son modulares.

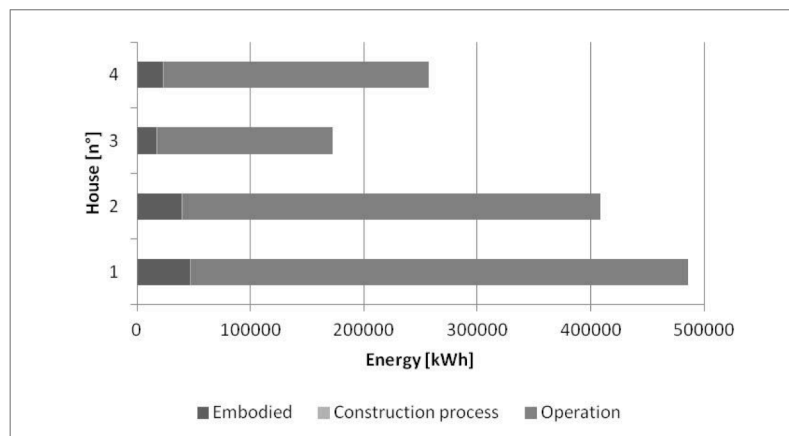


**Tabla 1.** Energía en cada etapa por vivienda  
**Table 1.** Energy at each stage by house

	Área/Area [m <sup>2</sup> ]	Contenida/Embodied	Proceso de construcción/Construction process			Operación/Operation
		Materiales/Materials [kWh]	Electricidad/Electric [kWh]	Gasolina/Gas [kWh]	Diesel [kWh]	Calefacción/Heating [kWh/50yr]
Vivienda 1/House 1	75.0	46914.7	625.0	84.8	22.9	438450
Vivienda 2/House 2	60.0	39421.6	500.4	67.8	8.1	368265
Vivienda 3/House 3	35.0	17221.0	291.3	39.6	11.5	155340
Vivienda 4/House 4	50.0	23066.9	417.0	56.5	11.5	233740

Al comparar los resultados para cada vivienda, se observa que la energía contenida de materiales utilizados representa un promedio de 98.3% en la pre-ocupación y la energía asociada con los procesos de construcción representa aproximadamente un 2% de esta etapa. La energía total de la pre-ocupación en promedio es equivalente a 5.4 años de energía térmica en la fase de ocupación. Esto se explica por el bajo nivel de requerimientos todavía presentes en las normas chilenas, con rangos de energía operacional entre 89-123 kWh/m<sup>2</sup>/anuales.

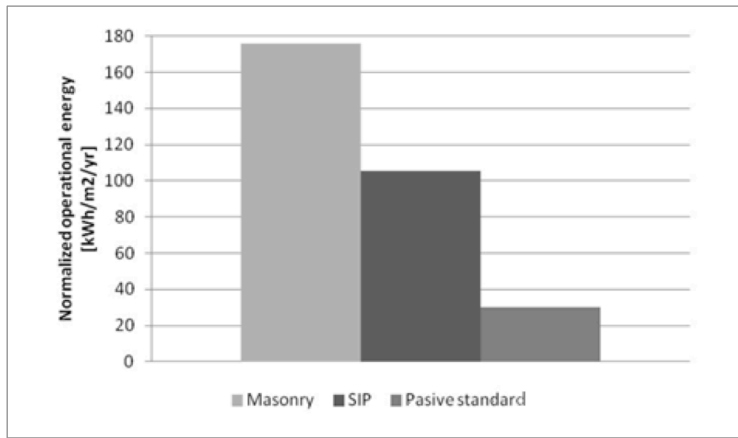
La energía total proyectada a 50 años de vida útil varía entre 172900 – 486097 kWh en un resultado promedio de 298947 kWh, donde la energía contenida en los materiales está en un promedio de 11% aproximadamente de la energía total. De igual forma, la energía utilizada por etapa se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Energía en cada etapa por vivienda proyectada a 50 años de vida útil  
**Figure 1.** Energy at each stage by house projected at 50 years of service life

La Figura 2 muestra, en términos generales, la disminución de la demanda energética térmica normalizada anual asociada con la nueva norma térmica aplicada en el país, pero también se observa la diferencia a un estándar de referencia como el passivhaus.





**Figura 2.** Energía Operacional por sistema de construcción  
**Figure 2.** Operational Energy by building system

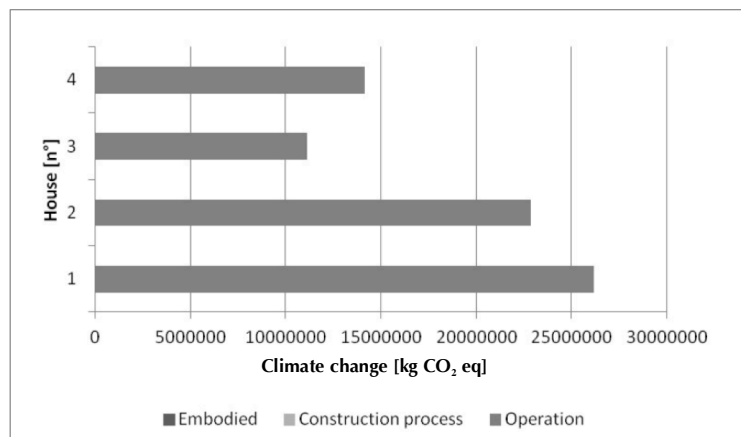
También es importante notar que la energía contenida en los materiales de las viviendas con paneles SIP con menor demanda energética operacional es al menos 20% de la energía promedio contenida en una vivienda de mampostería estructural (Cárdenas, Muñoz y Fuentes, 2011).

Se presentan las emisiones para referencia en la Tabla 2 y la Figura 3. Sin embargo, es claro que el resultado depende directamente de los factores de emisión del país en el cual se desarrolló el inventario. No obstante, sólo se utilizó para ver el peso de las emisiones en la etapa operacional.

**Tabla 2.** Emisiones en cada etapa por vivienda  
**Table 2.** Emission at each stage by house

	Área/Area [m²]	Contenida/Embodied	Construcciones/Constructions	Operación/Operation
		Materiales/Materials [kg CO <sub>2</sub> eq]	Proceso/Process [kg CO <sub>2</sub> eq]	Calefacción/Heating [kg CO <sub>2</sub> eq/yr]
Vivienda 1/House 1	75.0	12748.4	364.2	523491.0
Vivienda 2/House 2	60.0	12079.2	269.3	457086.0
Vivienda 3/House 3	35.0	5372.6	174.6	222993.5
Vivienda 4/House 4	50.0	6462.0	237.5	282701.9





**Figura 3.** Emisiones en categoría cambio climático por vivienda proyectadas a 50 años de vida útil  
**Figure 3.** Emissions energy by house projected at 50 years of service life

## 4. Conclusión

La etapa operacional es la fase principal del ciclo de vida en términos de demanda energética. En este sentido, la cantidad de energía en las viviendas y módulos representa un promedio de 5.4 años de demanda energética respecto a la energía operacional calculada sobre 50 años.

La energía contenida es en promedio sólo 11% de toda la energía en el ciclo de vida de las viviendas; el 89% restante está destinado a energía operacional.

En términos de energía, los procesos de construcción representan un impacto insignificante. La cantidad de energía contenida en los procesos de construcción, transporte, carga y descarga, es cerca del 2% del promedio total de energía contenida en los materiales de las viviendas y módulos.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de DIUFRO Project DI09-0083, Determinación del Comportamiento Energético de Viviendas en Temuco, Universidad de La Frontera, Chile.

## 6. Referencias/References

- Alcorn A. (1998)**, NEW ZEALAND BUILDING MATERIALS EMBODIED ENERGY COEFFICIENTS DATABASE Volume II: Coefficients. Centre for Building Performance Research.
- Arena A., and de Rosa C. (2003)**, Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment*, 38(2), 359–368. doi:10.1016/S0360-1323(02)00056-2
- Asif M., Muneer T. and Kelley R. (2007)**, Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42(3), 1391–1394. doi:10.1016/j.buildenv.2005.11.023
- Cárdenas J. P., Muñoz E. and Fuentes F. (2011)**, Operational and Embodied Energy in three houses. In *International Life Cycle Assessment Conference in Latin-America*.
- Geoff Hammond and Craig Jones (2008)**, Inventory of Carbon & Energy V1.6a.
- Thormark C. (2002)**, A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 37, 429 – 435.
- Zabalza Bribián I., Aranda Usón A. and Scarpellini S. (2009)**, Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520. doi:10.1016/j.buildenv.2009.05.001

